

Ю.Г. Клыков**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Рассмотрены различные физические свойства минерального сырья, такого, как полиметаллические руды и промпродукты медной и полиметаллической руд. Рассмотрены возможности моделирование гранулометрического состава и содержания полезного компонента и вмещающей породы на основе некоторых функций распределения.

Ключевые слова: минеральное сырьё, гранулометрические характеристики, функции распределения, аппроксимация.

Определение физических характеристик минерального сырья, подвергающегося дезинтеграции весьма важная задача.

Рассматриваются основные физические характеристики, такие как: гранулометрический состав, плотность, крепость, коэффициент внутреннего трения, удельная поверхность.

Исследования проводились при измельчении кварца и полиметаллической руды Садонского месторождения, а также при доизмельчении промпродуктов медной и полиметаллической руд.

Гранулометрический состав измельчаемых продуктов является самостоятельной, принципиально отличной от всех других характеристикой. Один и тот же измельчаемый продукт может быть представлен кусками и частицами различных размеров. Гранулометрический состав продукта формируется в результате разнообразных воздействий на горную массу: взрыв, резание, самоизмельчение, дробление, сегрегация, в связи с чем в конкретных условиях могут образоваться продукты отличные по гранулометрическому составу.

Закон распределения крупности материала по массе подчиняется какой либо функции распределения. Универсальным описанием кумулятивных

кривых гранулометрического состава является степенной закон для выхода подрешетного продукта

$$R - (l) = \left(\frac{l}{l_{\max}}\right)^c, \quad (1)$$

где l – размер куска; l_{\max} – максимальный размер куска; c – коэффициент.

Соответственно плотность распределения вероятности

$$\omega(l) = \frac{cl^{c-1}}{l_{\max}^c}. \quad (2)$$

Известен закон описания гранулометрического состава Розина – Рамлера, который соответствует распределению Вейбула

$$R_{-(l)} = 1 - \exp\left[-a\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)^c\right], \quad (3)$$

где a и c – коэффициенты; l – размер куска; l_{\max} – максимальный размер куска.

Распределение по крупности зерен полезного компонента, отражающие процессы естественного формирования руд представлено асимметричной кривой. Пользоваться плотностью распределения вероятностей размеров кусков по массе во многих случаях бывает неудобно.

В связи с этим часто используют какие-либо менее информативные, но более простые характеристики [1].

Прежде всего, это максимальный размер кусков, под которым понимается квадратный размер ячеек сита, на котором остается 5% массы пробы; затем средний размер кусков, под которым понимают размер ячеек квадратного сита, на котором остается 50% массы пробы.

Для равномерного распределения, или симметричного, и распределений близких к нему и находящихся в пределах $0,8 \leq c \leq 1,2$

$$\bar{I} \approx 0,5 I_{\max} \quad (4)$$

Законы распределения вероятностей granulометрического состава зависят от условий формирования опробуемого продукта и могут описываться равномерным или близким к нему распределением.

Распределение содержания определяемого компонента в любом продукте можно описать биномиальным законом. В этом случае распределение симметрично только для доли минералов $p = 0,5$, т.е. для продуктов, содержащих ровно половину кусков определяемого компонента.

В основном распределение бывает несимметрично, для исходного материала $p < 0,5$.

Реальные продукты измельчения описываются асимметричными законами распределения вероятностей содержания в частных пробах ограничен-

ной массы, зависящей от granulометрического состава и соотношения размеров кусков и зерен минерала [2].

Аппроксимация симметричных распределений осуществляется обычно с помощью нормального закона с непосредственным использованием в качестве его параметров выборочных характеристик $\bar{\alpha}$ и S_{α}^2

$$\omega(\alpha) = \frac{1}{S_{\alpha} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\alpha - \bar{\alpha})^2}{2S_{\alpha}^2} \right], \quad (5)$$

Аппроксимация правосторонних распределений производится гамма распределением

$$\omega(\alpha) = \frac{b^a \alpha^{a-1} e^{-b\alpha}}{\Gamma(a)}, \quad (6)$$

где $\Gamma(a)$ – гамма функция параметра a .

Оценка параметров a и b производится по выборочным характеристикам

$$a = \frac{\bar{\alpha}^2}{S_{\alpha}^2} = b\bar{\alpha} \quad (a > 0), \quad (7)$$

$$b = \frac{\bar{\alpha}}{S_{\alpha}^2} = \frac{a}{\bar{\alpha}} \quad (b > 0). \quad (8)$$

В зависимости от соотношения показателей a и b гамма-распределение имеет различный вид. Для исходной руды при $a > 1$ кривая плотности распределения имеет моду $M_0(\alpha)$.

$$M_0(\alpha) = \frac{a-1}{b} = \bar{\alpha} - \frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha}}. \quad (9)$$

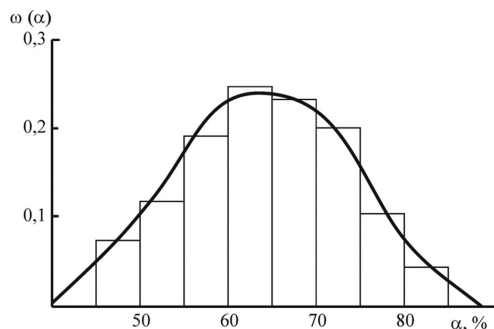


Рис. 1. Функция распределения по содержанию кварца

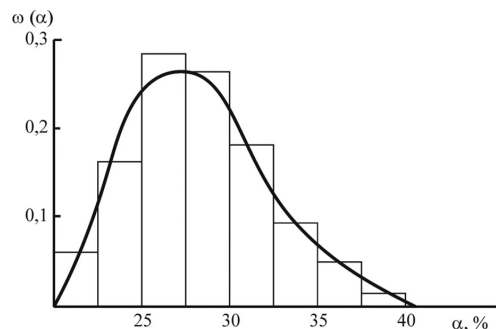


Рис. 2. Функция распределения по содержанию полиметаллической руды

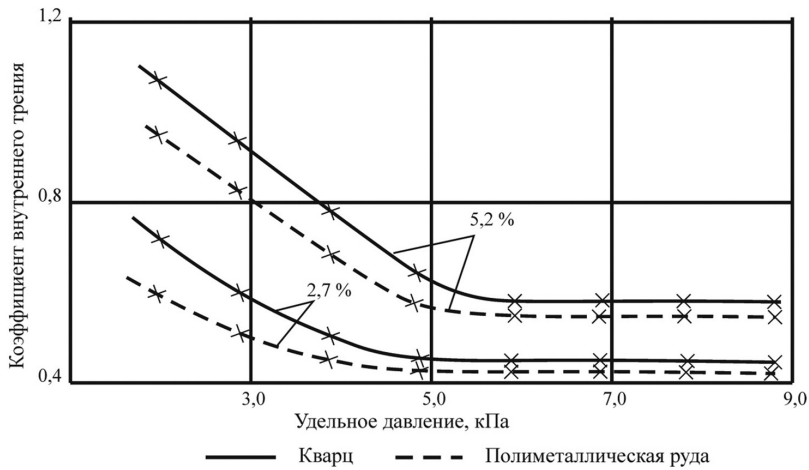


Рис. 3. Зависимость коэффициента внутреннего трения от величины удельного давления и влажности материала

При $0 < a \leq 1$ кривая непрерывно убывает.

Гамма-распределение хорошо описывает асимметричные распределения бедных продуктов, в частности руд. Экспериментально полученные законы распределения аппроксимируются одной из кривых. На рис. 1 и рис. 2 приведены функции распределения кварца и полиметаллической руды. В данном случае для кварца аппроксимируем нормальным законом

$$\omega(\alpha) = \frac{1}{4,87\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha-54,3)^2}{2 \cdot 4,87^2}} \quad (10)$$

Хорошая аппроксимация объясняется тем, что доля зерен определяемого компонента близка к 0,5.

Полиметаллическую руду характеризует правосимметричное распределение. Аппроксимация экспериментально полученного закона распределения крупности полиметаллической руды заметно хуже.

На части других физических свойств горных пород мы не будем останавливаться, так как сами показатели физических свойств, так же как и методы их определения, месторождения и источник, откуда взяты данные, приведены в справочнике (кадастре) физи-

ческих свойств горных пород [3] и используются по мере необходимости.

Коэффициент внутреннего трения должен определяться для каждого вида измельчаемого материала. В справочных данных он, как правило, не приводится. Это обстоятельство связано с тем, что коэффициент внутреннего трения в значительной степени зависит от крупности измельчаемого материала и его влажности, а также и от типа установки на котором он определен. Как правило, для этого применяются установки типа трибометр, с горизонтальным или круговым движением материала. Описание установок и некоторые результаты экспериментов по определению коэффициента внутреннего трения в мелкозернистом рудном материале описаны в [4, 5]. Коэффициент внутреннего трения определяется как соотношение силы трения к силе нормального давления.

Зависимость коэффициента внутреннего трения мелкозернистого материала от величины удельного давления и влажности измельчаемого материала приведены на рис. 3. Анализируя график можно сделать вывод, что для исследуемых нами материалов и в возможном диапазоне влажностей, коэф-

коэффициент внутреннего трения изменяется в пределах от 0,4 до 1,1.

Такой физический параметр рудного сырья как удельная поверхность в большей степени имеет отношение к тонко измельченному рудному материалу, так как у измельчаемого сырья, состоящего из кусков сравнительно большого размера удельная поверхность невелика, и указанный физический параметр не является достаточно объективной оценкой.

Удельная же поверхность тонкоизмельченного материала может быть на два-три порядка больше, чем у исходного а следовательно удельная поверхность является важным, может быть единственно возможным параметром, характеризующим крупность измельчения.

Удельная поверхность может быть определена теоретически и экспериментально. Каждый из способов имеет свои недостатки и достоинства. Необходимо различать, так называемую, теоретическую поверхность продукта, выраженную через какой либо условный коэффициент, и физическую, измеренную точными физико-химическими способами. Во всех случаях сначала определяют удельную поверхность, которая является суммарной площадью поверхности зерен, имеющих вес равный единице, например

1 г. В этом случае удельная поверхность S_0 выражается $\text{см}^2/\text{г}$. Для перехода к удельной поверхности всей руды, удельную поверхность умножают на массу пробы m . Суммарная поверхность $S = S_0 \cdot m$, см^2 .

Для вычисления теоретической удельной поверхности S_0 любого продукта необходимо предварительно определить поверхность зерен каждого класса крупности, считая в первом приближении, что все зерна каждого класса имеют средний размер l .

Удельная поверхность единицы массы измельченного материала

$$S_0 = \sum S = \frac{6}{\delta \sum_{i=1}^h \frac{\gamma_i}{l_i}} \quad (11)$$

Существуют и другие формулы для вычисления удельной поверхности, например, экспоненциально-степенное уравнение Розина–Рамлера или упрощенное показательное уравнение. Каждое из уравнений рационально для применения в различных случаях, требующих индивидуального подхода.

Экспериментальное определение удельной поверхности основано на методе растворения, адсорбции, гиргоскопичности, теплоте смачивания. Все эти методы, вследствие своей сложности, используются только при весьма точных измерениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1968.

2. Козин В.З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. – М.: Недра, 1985.

3. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Под. ред. Р.Д. Мель-

никова, В.В. Ржевского, М.М. Протодяконова – М.: Недра, 1975.

4. Ягулов А.В., Выскребенец А.С. О коэффициенте внутреннего трения в мелкозернистом угле // Теплоэнергетика. – 1980. – № 4.

5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. – М.: Наука, 1979. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Клыклов Юрий Георгиевич – доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), e-mail: klikovu@mail.ru.

PHYSICAL PROPERTIES OF MINERALS AND THE PROSPECTS FOR ITS MODELING

Klykov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor,
North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University),
362021, Vladikavkaz, Russia, e-mail: klikovu@mail.ru.

Various physical properties of the mineral raw materials such as ores and middling copper and polymetallic ores. The possibility of modeling of particle size distribution and mineral content and the host rock on the basis of some distribution functions.

Key words: mineral raw materials, grain characteristics, distribution function approximation.

REFERENCES

1. Materon Zh. *Osnovy prikladnoy geostatistiki* (Foundations of applied geostatistics), Moscow, Mir, 1968.
2. Kozin V.Z. *Oprobovanie i kontrol' tekhnologicheskikh protsessov obogashcheniya* (Testing and control of technological processes), Moscow, Nedra, 1985.
3. *Spravochnik (kadastr) fizicheskikh svoystv gornykh porod*. Pod. red. R.D. Mel'nikova, V.V. Rzhetskogo, M.M. Protod'yakonova (Reference (inventory) of physical properties of rocks. Mel'nikov R.D., Rzhetskii V.V., Protod'yakonov M.M. (Eds.)), Moscow, Nedra, 1975.
4. Yagupov A.V., Vyskrebenets A.S. *Teploenergetika*. 1980, no 4.
5. Ashcroft N., Mermin N. *Fizika tverdogo tela* (Solid state physics), Moscow, Nauka, 1979.



УМНАЯ КНИГА – ПРЕДМЕТ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ

ЛЮБОВЬ, ВЕРНОСТЬ И ЛОЯЛЬНОСТЬ ПО МЕСТУ РАБОТЫ НЕОБЯЗАТЕЛЬНЫ

Патриотизм и верность руководителю не оплачиваются.

Восточные традиции неискреннего восхваления и клятв в любви к родине, семье и фирме наносят немалый ущерб делу: появляются профессиональные патриоты, а любая критика может стать причиной для преследования инакомыслящего, каким бы полезным для дела тот ни был. Поэтому наши издательства равнодушны к заверениям в верности, лояльности и любви. Новички по привычке пытаются играть на инструментах патриотизма, но, увидев комплиментоустойчивость администрации, быстро остывают.

Любить наши издательства необязательно, выше ценятся критика, выявление недостатков, конструктивные предложения. Да и просто квалифицированная и добросовестная работа для нас важнее патриотического славословия. Такой подход для успешного развития издательства дает неплохие результаты. Сотрудники, понимающие малозначимость красивых деклараций, сосредотачивают внимание на производстве и коммерции, не расплескывая на примитивную политику.

Уйти всем коллективом от комплиментарного стиля общения сложно, многие привычно хотят завоевать позиции заверениями в лояльности издательствам, дающим сотрудникам необходимое жизнеобеспечение. Но поняв, что это не дает практических результатов, да и провоцирует сарказм коллектива, отрезвляются и концентрируют внимание на деле.

Впрочем, основные правила корпоративной этики совпадают во многих фирмах. Сплетничать и клеветать у нас не принято, весь негатив стараемся разобрать в среде наших сотрудников. Устойчивость правил приличного поведения обеспечивают «ветераны», прекрасные специалисты и высоконравственные люди. Технически эта сторона жизни в наших издательствах легко осуществима и не требует дополнительных расходов, а эффект от ее реализации вполне осязаем.

(Продолжение на с. 389)